ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

RMUTT Research Journal
Science and Technology
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

ผลของความเข้มข้นสารละลายออสโมติกต่อการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของเมล่อนหลังการออสโมซิส

Effect of Osmotic Solution Concentration on Mass Transfer and Quality of Melon after Osmosis

สุนัน ปานสาคร* จตุรงค์ ลังกาพินธุ์ ศุภณัฐ พริกบุญจันทร์ และ อาทิพัฒน์ ศรีชุมพล

Sunan Parnsakhorn*, Jaturong Langkapin, Supanut Phriknunchan and Artipat Srichumpol

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani 12110, THAILAND

*Corresponding author e-mail: sunan.p@en.rmutt.ac.th

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 8 May, 2020
Revised: 21 August, 2020
Accepted: 3 September, 2020
Available online: 21 October, 2020
DOI: 10.14456/rj-rmutt.2020.24

Keywords: melon, osmosis, mass transfer, glucose

ABSTRACT

This research was to study the effect of osmotic solution concentration on mass transfer and quality of melon after osmosis. Melon cubes (2x2x2 cm) were immersed in glucose at the concentration of 40, 50 and 60°Brix for 0-5 hr. After the osmosis process for 5 hr, mass transfer parameters namely, water loss (WL) solid gain (SG) and weight reduction (WR), were evaluated. The result showed that concentrations of glucose affected mass transfer. The use of a 60°Brix glucose solution showed the highest ($p \leq 0.05$) water loss (21.81%), solid gain (5.31%) and weight reduction (16.44%). Thus, this sample had lower moisture content and higher total soluble solid content when compared with a fresh melon. The good qualities of melon were presented for all 3 concentrations solution was 5 hr. Then, the effect of the osmotic solution on the quality of the melon osmosis product was investigated. The melon which was immersed in 60°Brix glucose solution had the highest value in term of hardness as 27.20 N, lightness as 49.63 and total soluble solid as 34.20°Brix ($p \leq 0.05$) but the lower total color difference (ΔE^*) as 12.10, water activity (a_w) as 0.899 and moisture content 76.34%wb than others.

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายออสโมติกต่อการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของเมล่อนหลังการออสโมซิส โดยนำเมล่อนลูกบาศก์ (2x2x2 cm) มาแช่ในสารละลายน้ำตาลกลูโคสที่ระดับความเข้มข้น 40, 50 และ 60°Brix เป็นเวลา 0-5 ชั่วโมง หลังการออสโมซิสเมล่อนเป็นเวลา 5 ชั่วโมง คำนวณค่าการถ่ายเทมวลสาร ได้แก่ ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (WR) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสมีผลต่อการถ่ายเทมวลสาร การใช้สารละลายกลูโคส 60°Brix ทำให้เมล่อนมีปริมาณน้ำที่สูญเสีย (21.81%) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (5.31%) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (16.44%) มากที่สุด ($p<0.05$) ส่งผลให้เมล่อนมีปริมาณความชื้นลดลงแต่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับเมล่อนสด โดยเวลาที่ส่งผลต่อคุณภาพที่ดีของเมล่อนหลังการหลังการออสโมซิสในสารละลายทั้ง 3 ความเข้มข้นคือ 5 ชั่วโมง จากนั้นศึกษาผลของสารละลายออสโมติกต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมล่อนออสโมซิส เมล่อนที่ผ่านการแช่ในสารละลายกลูโคส 60°Brix มีค่าต่างๆ สูงสุดดังนี้ ความแข็ง 27.20 N, ค่าความสว่าง 49.63 และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 34.20°Brix ($p\leq0.05$) แต่มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE^*) เท่ากับ 12.10, ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) 0.899 และความชื้น 76.34%wb ต่ำกว่า ($p\leq0.05$) ตัวอย่างอื่น

คำสำคัญ: เมล่อน ออสโมซิส การถ่ายเทมวลสาร กลูโคส

บทนำ

เมล่อน (Cucumismelo var. inodorus) เป็นผลไม้ที่อยู่ในตระกูลแตงและมีการบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศและส่งออกไปยังต่างประเทศ เนื่องด้วยรสชาติที่หวาน มีกลิ่นหอม แถมยังมีสีสันที่สวยงามน่ารับประทาน จึงนิยมนำมาบริโภคสดหรือนำมาผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เมล่อนอบแห้ง เมล่อนแช่อิ่ม ไอศกรีมเมล่อน เป็นต้น เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มความสะดวกในการขนส่ง อีกทั้งในเมล่อนยังมีเอนไซม์ที่มีชื่อว่า Superoxide Dismutase มีสรรพคุณช่วยต้านอนุมูลอิสระและลดกระบวนการทางเคมีภายในร่างกาย มีวิตามินซี วิตามินเอ เบต้าแคโรทีน แคลเซียม และธาตุเหล็ก ซึ่งสารอาหารดังกล่าวล้วนแล้วแต่มีความสำคัญและมีประโยชน์ต่อร่างกาย อีกทั้งเมล่อนนั้นเป็นผลไม้ที่ไม่มีไขมันคอลเรสเตอรอล แคลอรี่ต่ำ เหมาะสำหรับผู้ที่ดูแลสุขภาพและผู้ที่กำลังควบคุมน้ำหนักเป็นอย่างยิ่ง (1-3) นอกจากนี้ยังเป็นที่นิยมนำไปปลูกในกลุ่มเกษตรเนื่องจากเป็นพืชที่ใช้น้ำน้อย ราคาจำหน่ายอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามเมล่อนเป็นผลไม้ที่มีองค์ประกอบของน้ำสูง ดังนั้นอายุการเก็บรักษาจึงสั้น ประกอบกับในช่วงฤดูร้อนพบว่าผลผลิตเมล่อนจากเกษตรกรในแต่ละแห่งมีคุณภาพค่อนข้างต่ำกว่าเมล่อนในช่วงฤดูการอื่น ๆ ดังนั้นการนำเมล่อนที่คุณภาพต่ำไม่ได้มาตรฐานเช่น ค่าความหวานต่ำ ขนาดของผลเล็ก มาผ่านกระบวนการแปรรูปเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าหรือช่วยยืดอายุการเก็บรักษาจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ หนึ่งในกระบวนการนั้นคือ “การออสโมซิส (Osmosis)” หรือที่รู้จักกันคือ “การแช่อิ่ม” วิธีการนี้เป็นการดึงน้ำออกบางส่วนจากชิ้นผักผลไม้ทำให้น้ำในผลไม้ลดลง โดยไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนสูงจึงเป็นวิธีลดปริมาณน้ำในผักผลไม้ที่ไม่รุนแรงและช่วยลดการเปลี่ยนแปลงลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้นเมื่อจะนำไปแปรรูปร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ เช่น การอบแห้ง การทอด และการแช่เยือกแข็ง เป็นต้น (4-6)

การดึงน้ำออกจากอาหารด้วยวิธีออสโมซิสสามารถทำได้โดยส่วนใหญ่มักดำเนินการกับผักผลไม้ ซึ่งสามารถกำจัดน้ำออกจากอาหารโดยการนำอาหารแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง หรือมีคาวอเตอรแอคติวิตี้ (Water activity: a_w) ต่ำกว่าอาหารนั้น สารละลายที่นิยมใช้ ได้แก่ น้ำตาล (กลูโคส, ซูโครส, ฟรุคโตส) หรือเกลือมา

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

ใช้เตรียมเปนสารละลายออสโมติกอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น มีความสามารถในการละลายสูง ราคาถูก มีประสิทธิภาพที่ดีในการดึงน้ำออกจากชิ้นอาหารและช่วยปรับปรุงรสชาติของอาหารหลังการออสโมซิส (7, 8) นอกจากนี้ยังมีการนำกระบวนการออสโมซิสมาใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพในอีกหลายรูปแบบ เช่น ใช้น้ำตาลโอลิโกฟรุกโตสในการออสโมซิสมะเขือเทศ (9) การเติมแร่ธาตุหรือสารต้านอนุมูลอิสระในสารละลายออสโมติกในแอปเปิล (10) และการเสริมสารประกอบฟีนอลิกจากเมล็ดองุ่นในแอปเปิล กล้วย และ มันฝรั่ง (11) เป็นต้น ความแตกต่างระหว่างความดันออสโมติกของสารละลายกับอาหารทำให้เกิดแรงขับ (Driving Force) ซึ่งทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างสารละลายและอาหาร โดยน้ำจะเกิดการเคลื่อนที่ออกจากสารละลายที่เจือจางผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Semipermeable Membrane) ในที่นี้คือเยื่อหุ้มเซลล์ไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่า ที่ล้อมรอบอยู่ในขณะเดียวกันจะเกิดการแพรของของแข็งจากสารละลายผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ไปยังชิ้นอาหาร (6, 12) ซึ่งการมีความเข้าใจเกี่ยวกับถ่ายเทมวลสารระหว่างสารละลายและอาหารในระหว่างกระบวนการออสโมซิสเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับผู้ปฏิบัติงาน ทั้งนี้มีรายงานวิจัยที่ทำการศึกษาการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสผลมะกรูด แตงไทย กล้วยไข่ (13-15) แต่ยังไม่มีรายงานวิจัยชัดเจนในส่วนของการทำการศึกษาการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมซิสเมล่อน ดังนั้นเพื่อทำความเข้าใจถึงพฤติกรรมการถ่ายเทเทมวลสารในการออสโมซิสงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายออสโมติกต่อการถ่ายเทมวลสาร ได้แก ปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง ในระหว่างการออสโมซิสและคุณภาพของเมล่อนหลังการออสโมซิส

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการเรียมวัตถุดิบ

จัดซื้อเมล่อน (Cucumismelo var. indorus) พันธุ์กรีนเน็ต ที่มีขนาดสม่ำเสมอไม่มีรอยตำหนิ วัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ระหว่าง 11-13°Brix นำมาล้างด้วยน้ำสะอาด ปอกเปลือกผ่าครึ่งตัดส่วนที่เป็นเมล็ดออกจากนั้นตัดเมล่อนเป็นชิ้นรูปลูกบาศก์เมตรขนาด 2x2x2 cm. และนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีเบื้องต้น

ขั้นตอนการออสโมซิส

นำเมล่อนที่ได้เตรียมไว้จากขั้นตอนแรกแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1% เป็นเวลา 10 นาที เพื่อช่วยรักษาคุณภาพของชิ้นเมล่อนป้องกันความผิดปกติทางสรีรวิทยา จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดและทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำทำการชั่งน้ำหนักและทดสอบปริมาณความชื้นของชิ้นเมล่อนเริ่มต้นและนำเมล่อนไปแช่ในสารละลายกลูโคสที่ได้จัดเตรียมไว้ 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ 40, 50 และ 60°Brix ในอัตราส่วนระหว่างเมล่อนและสารละลายออสโมติกเปน 1:10 (โดยน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิห้อง โดยระหว่างการแช่เมล่อนในสารละลายกลูโคสทำการวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักชิ้นเมล่อนเป็นเวลา 1, 2, 3, 4, และ 5 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำชิ้นเมล่อน ออกจากสารละลายแล้วล้างโดยให้น้ำไหลผ่านชิ้นเมล่อนเป็นเวลา 30 วินาที วางพักบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 2 นาที แล้วซับให้แห้งด้วยกระดาษ ชั่งน้ำหนักและหาความชื้นหลังการออสโมซิส (14) จากนั้นคำนวณหาปริมาณการถ่ายเทมวลสารประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water Loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain; SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight Reducing; WR) (16)

ปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water Loss; WL) คำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\mathrm{WL}(\%) = \frac{(W_O M_O - W_t M_t)}{W_O} x100 \qquad (1)$$

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain; SG) คำนวณได้จากสมการที่ 2

$$SG(\%) = \frac{[W_t(1-M_t)-W_o(1-M_o)]}{W_o} x100 \quad (2)$$

ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight Reducing; WR) คำนวณได้จากสมการที่ 3

$$WR(\%) = \frac{(W_o-W_t)}{W_o} x100 \quad (3)$$

โดยที่

W_o คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)

W_t คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังการออสโมซิสที่เวลาใด ๆ (g)

M_o คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้น (g water/ g sample)

M_t คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างหลังการออสโมซิสที่เวลาใด ๆ (g water/g sample)

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

1. ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

อ้างอิงวิธีการทดสอบจากมาตรฐาน AOAC (17) โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 g (น้ำหนักก่อนอบ) อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Binder, Model FD 115, Germany) ที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 16 hr จากนั้นนำตัวอย่างพร้อมภาชนะใส่ในโถดูดความชื้นทันทีเป็นเวลา 30 min และชั่งน้ำหนักหลังการอบ คำนวณหาค่าความชื้นด้วยสมการที่ (4) รายงานผลในหน่วยเปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (%wb)

$$\%wb = \frac{(W_i-W_f)}{W_i} x100 \quad (4)$$

โดยที่

W_i คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)

W_f คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)

2. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

หาปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (AquaLab, 3TE, USA)

3. ค่าสี (Color)

วัดค่าสีด้วยเครื่อง Color Difference Meter (Minolta, Model JC801, Tokyo, Japan) รายงานผลในรูปของ L*, a*, b* ซึ่งทั้ง 3 ค่าเป็นการแสดงการวัดค่าสีเฉพาะเจาะจงโดยที่ค่า L* คือ ค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว สำหรับค่า a* คือค่าความเป็นสีเขียว (Greenness) เมื่อมีค่าเป็นลบและมีค่าความเป็นสีแดง (Redness) เมื่อมีค่าเป็นบวก และค่า b* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) เมื่อมีค่าเป็นบวกและค่าความเป็นสีน้ำเงิน (Blueness) เมื่อมีค่าเป็นลบ ซึ่งก่อนทำการวัดค่าสี เครื่องวัดสีจะถูกปรับเทียบความเที่ยงตรงของค่าสีด้วย Standard Calibration Plate ค่า L*,a* และ b* เท่ากับ 98.11, -0.11 and -0.08 ตามลำดับ

4. การหาค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE^*)

ทำการเก็บข้อมูลค่า L*, a*, b* ที่วัดจากเครื่องวัดค่าในแต่ละสภาวะการทดสอบโดยวัดค่าสีเริ่มต้นและภายหลังการเปลี่ยนแปลงที่เวลาในการแช่สารละลายที่ระดับต่างๆ จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความแตกต่างสีโดยรวมด้วยสมการที่ 5 (18)

$$\Delta E^* = [(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2]^{1/2} \quad (5)$$

โดยที่

ΔE^* คือ ค่าความแตกต่างสีโดยรวม

L_0^*, a_0^*, b_0^* คือ ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองของเมล่อนสดที่ไม่ผ่านกระบวนการออสโมซิส

L^*, a^*, b^* คือ ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองของเมล่อนที่ผ่านกระบวนการออสโมซิส

5. ค่าความแข็ง (Hardness)

ทดสอบวัดค่าโดยใช้แรงเฉือน (Shear force) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron Universal Tester Machine, Model LRX Plus, UK) โดยใช้หัวตัด Warner Bratzler Blade ตัดตัวอย่างให้ขาดด้วยความเร็ว 50 mm/min ตัดบริเวณด้านกลางของชิ้นเมล่อน และพิจารณาถึงค่าความแข็ง (Maximum force) ของตัวอย่างจากการตัดเฉือนในหน่วยนิวตัน (N) ทำการทดลอง 3 ซ้ำในแต่ละตัวอย่าง

6. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid, TSS)

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

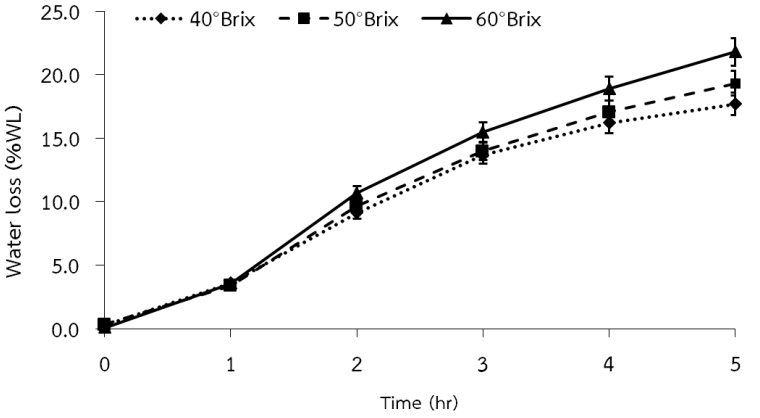
คั้นน้ำจากตัวอย่างและวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยเครื่อง Hand Refractometer (Optika, Model HR-190, Italy) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส บันทึกค่าจากนั้นทำซ้ำอีก 2 ครั้ง

การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองที่ระดับความแตกต่างทางสถิติ 95% (One–way analysis of variance (ANOVA)) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan New's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การดึงน้ำออกด้วยวิธีการออสโมซิสเป็นการอาศัยหลักการการเคลื่อนย้ายน้ำบางส่วนออกจากเนื้อเยื่ออาหาร ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์ของอาหารและสารละลายออสโมติกเกิดเป็นแรงขับ (Driving Force) ทำให้มีการถ่ายโอนมวลสารระหว่างเซลล์ของอาหารและสารละลายออสโมติก ในลักษณะสวนทางกันผ่านเยื้อหุ้มเซลล์ซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (Semi-permeable Membrane) (19) ดังนั้นเมื่อนำเมล่อนมาผ่านกระบวนการออสโมซิสหรือที่เรียกว่าว่า "การแช่อิ่ม" เพื่อเป็นการถนอมอาหารโดยนำเมล่อนไปแช่ในสารละลายน้ำตาลกลูโคสที่มีความเข้มข้นสูงพบว่าจะเกิดการถ่ายเทมวลสารด้านปริมาณน้ำที่สูญเสีย (Water Loss; WL) ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (Solid Gain; SG) และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง (Weight Reducing; WR) ในชิ้นเมล่อนแสดงดังรูปที่ 1 ถึง รูปที่ 3

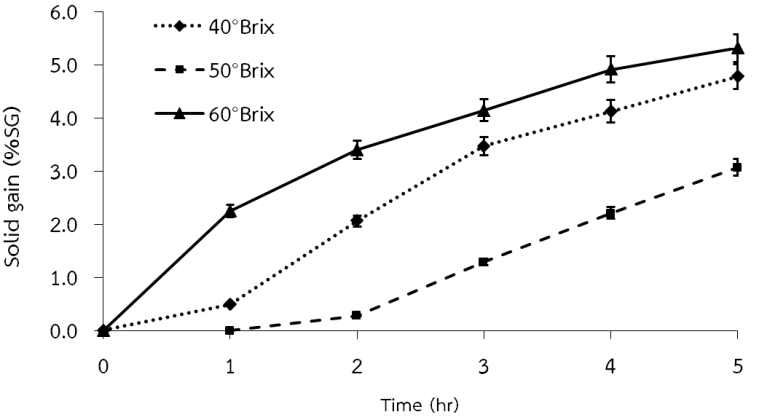


รูปที่ 1 ร้อยละการสูญเสียน้ำของเมล่อนระหว่างกระบวนการออสโมซิส 0-5 ชั่วโมง

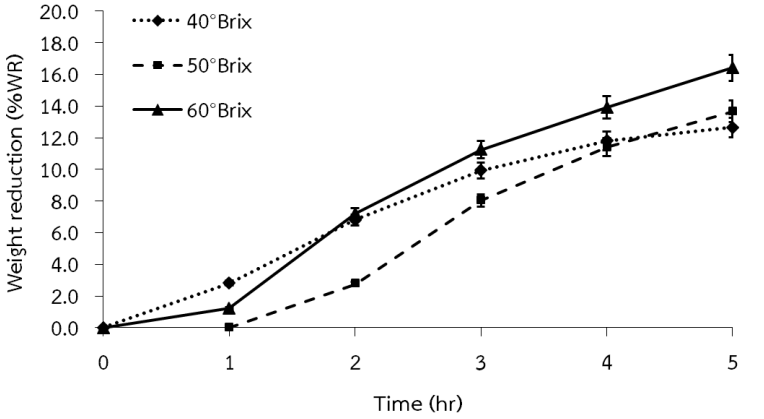
จากการทดสอบผลของความเข้มข้นสารละลายออสโมติกต่อการถ่ายเทมวลสารในชิ้นเมล่อนดังรูปที่ 1 พบว่าร้อยละการสูญเสียน้ำของเมล่อนเพิ่มขึ้นระหว่างการแช่ในสารละลายกลูโคส 40-60°Brix โดยในช่วง 0-2 ชั่วโมงแรก ที่มีการแช่เมล่อนในสารละลายกลูโคสทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของร้อยละการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วในลักษณะใกล้เคียงกัน โดยที่ 40, 50 และ 60°Brix ให้ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหลังการแช่ในสารละลายกลูโคส 2 ชั่วโมง เท่ากับ 9.13, 9.67 และ 10.67% ตามลำดับ จากนั้นที่การแช่เมล่อน 3-5 ชั่วโมง พบว่าร้อยละการสูญเสียน้ำของเมล่อนทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสมีแนวโน้มเข้าสู่สภาวะเริ่มคงตัว ทั้งนี้เมื่อพิจารณาถึงระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสหลังการแช่เมล่อนเป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่าที่ 60°Brix ให้ค่าร้อยละการสูญเสียน้ำสูงสุดที่ 21.81% และลดหลั่นลงมาที่ 50°Brix และ 40°Brix เท่ากับ 19.32% และ 17.68% ตามลำดับ เนื่องจากน้ำจะเคลื่อนที่ผ่านเยื้อหุ้มเซลล์ออกจากสารละลายที่เจือจางภายในเซลล์ไปสู่สารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงมากกว่าที่ล้อมรอบอยู่ด้านนอก ดังนั้นจากการที่นำเมล่อนไปแช่ในสารละลาย

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

น้ำตาลเข้มข้นจึงส่งผลให้ร้อยละการสูญเสียน้ำของเมล่อน
เพิ่มขึ้นหรือความชื้นลดลง (6, 12)



รูปที่ 2 ร้อยละปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของเมล่อนระหว่างกระบวนการออสโมซิส 0-5 ชั่วโมง



รูปที่ 3 ร้อยละปริมาณน้ำหนักที่ลดลงของเมล่อนระหว่างกระบวนการออสโมซิส 0-5 ชั่วโมง

จากรูปที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงร้อยละปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของเมล่อนระหว่างกระบวนการออสโมซิส 0-5 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของร้อยละการสูญเสียน้ำของเมล่อนระหว่างกระบวนการออสโมซิส เนื่องจากการออสโมซิสทำให้เกิดการแพร่ของน้ำออกจากเซลล์เมล่อนไปยังสารละลายกลูโคส ขณะเดียวกันตัวถูกละลายจากสารละลายแพร่เข้าสู่เซลล์ของเมล่อนทำให้มีปริมาณน้ำลดลงและปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น (20) จากรูปที่ 2 พบว่าระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสมีผลต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นโดยที่การแช่เมล่อนในสารลายกลูโคส 60°Brix ในช่วง 0-2 ชั่วโมงแรก ให้ค่าร้อยละปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีค่าสูงกว่าการแช่เมล่อนในสารลายกลูโคส 40°Brix และ 50°Brix ตลอดระยะเวลาของการแช่ อย่างไรก็ตามการแช่เมล่อนในสารละลายกลูโคส 50°Brix ให้ค่าร้อยละปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นตามเวลาของการแช่ แต่กลับพบว่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นที่น้อยกว่าการแช่เมล่อนในสารลายกลูโคส 40°Brix และ 60°Brix ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเลือกชิ้นส่วนของเมล่อนที่นำมาทดสอบเป็นบริเวณที่แตกต่างกันความหนาแน่นของชิ้นเมล่อนอาจเกิดความแตกต่างจึงส่งผลต่ออัตราการออสโมซิสและอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็ง ซึ่งการเลือกใช้

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

สารละลายออสโมติกความเข้มข้นสูงทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกมาก สามารถเร่งอัตราการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการออสโมซิสได้ (15, 21)

จากรูปที่ 3 โดยภาพรวมของการทดลองพบว่าการใช้น้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 40, 50 และ 60°Brix ส่งผลให้ร้อยละปริมาณน้ำหนักที่ลดลงของเมล่อนหลังผ่านกระบวนการออสโมซิส 5 ชั่วโมง มีค่าเพิ่มขึ้นที่ 12.65%, 15.95% และ 16.44% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการแช่เมล่อนในสารละลายความเข้มข้นสูงทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารที่สูงกว่าการการแช่ในสารละลายความเข้มข้นต่ำ อย่างไรก็ตามเวลาในการแช่ก็ส่งผลต่อการถ่ายเทมวลสารเช่นกัน ซึ่งพบว่าการใช้เวลาในการแช่เมล่อนในสารละลายกลูโคสนานมีโอกาสให้ชิ้นของเมล่อนสัมผัสกับสารละลายมากขึ้น น้ำในเนื้อเยื่อสามารถแพร่ออกมาในอัตราสูงโดยเฉพาะในช่วงแรก ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในรูปที่ 3 ในช่วง 0-3 ชั่วโมง ของทั้ง 3 ความเข้มข้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่งน้ำจะแพร่ออกมาในอัตราที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากในช่วงแรกของการออสโมซิสเกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างเซลล์เมล่อนกับสารละลายกลูโคสมากทำให้เกิดแรงขับสูงที่จะเกิดการถ่ายโอนมวลมากและรวดเร็ว เมื่อเวลาในการออสโมซิสนานขึ้นความเข้มข้นบริเวณรอบ ๆ ชิ้นเมล่อนจะลดลงเนื่องจากน้ำภายในชิ้นเมล่อนแพร่ออกมาสู่สารละลายกลูโคสมากขึ้น สารละลายกลูโคสจึงมีความเข้มข้นลดลงกว่าช่วงแรกจึงทำให้แรงดันออสโมติกมีค่าน้อยลงมีผลให้เกิดแรงขับที่จะถ่ายโอนมวลน้อยและช้าลง (9, 19, 22)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง หลังการออสโมซิสเมล่อนที่เวลา 5 ชั่วโมง

ความเข้มข้นสารละลายกลูโคส (°Brix)	ค่าเฉลี่ย±SD		
	ปริมาณน้ำที่สูญเสีย WL (%)	ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น SG (%)	ปริมาณน้ำหนักที่ลดลง WR (%)
40	17.68±0.87^{c}	4.77±0.23^{b}	12.65±0.78^{c}
50	19.32±0.76^{b}	3.03±0.11^{c}	15.95±0.56^{b}
60	21.81±0.34^{a}	5.31±0.12^{a}	16.44±0.32^{a}

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ (ค่าเฉลี่ย±SD.)

^{ab} อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบโดย DMRT (mean± SD)

จากตารางที่ 1 แสดงค่าการถ่ายเทมวลสารหลังการออสโมซิสเมล่อนในสารละลายกลูโคสทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ซึ่งให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลง สูงที่สุดเมื่อเทียบกับที่เวลา 0-4 ชั่วโมง ในขณะเดียวกันที่การแช่เมล่อนในสารละลายกลูโคส 60°Brix ให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลงสูงที่สุดที่ 21.81%, 5.31% และ 16.44% ตามลำดับ และพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเทียบกันของทั้ง 3 ระดับความเข้มข้นสารละลายกลูโคส (40, 50 และ 60°Brix) ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับดังกล่าวมีความเข้มข้นสูงจึงเกิดแรงดันออสโมติกมาก นอกจากนี้การแช่เมล่อนในสารละลายออสโมติกความเข้มข้นสูงเป็นเวลานานทำให้เกิดปรากฏการณ์พลาสโมไลซิส มีผลทำให้ความแข็งแรงของผนังเซลล์ลดลงส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์ยอมให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้มาก (23) ในขณะเดียวกันพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส 40°Brix ให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสีย และปริมาณน้ำหนักที่ลดลงที่เวลาการแช่เมล่อน 5 ชั่วโมงต่ำสุดที่ 17.68% และ 12.65% ตามลำดับ

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Agarry and Owabor (24) ที่ศึกษาการออสโมซิสในกระเจี๊ยบเขียวพบว่าการใช้สารละลายความเข้มข้นต่ำทำให้แรงขับในกระบวนการออสโมซิสต่ำมีผลให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้น้อยถึงแม้จะใช้เวลาในการออสโมซิสนาน

ตารางที่ 2 ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE*) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเมล่อนหลังการออสโมซิส 5 ชั่วโมง เมื่อแปรความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส

ความเข้มข้นสารละลายกลูโคส (°Brix)	ค่าสี			ΔE*	วอเตอร์แอคติวิตี้	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้
	L*	a*	b*		a_w	°Brix
เมล่อนสด	60.32±0.56[a]	-5.60±0.23[c]	27.81±0.80[a]	-	0.906±0.005[a]	11.20±0.98[d]
40	44.63±1.35[c]	-2.80±0.53[b]	26.63±1.01[a]	15.98±1.75[a]	0.887±0.003[b]	21.60±1.08[c]
50	45.07±1.96[c]	-2.57±0.98[ab]	25.03±1.68[a]	15.79±2.85[a]	0.798±0.001[c]	26.87±0.95[b]
60	49.63±1.51[b]	-1.53±0.02[a]	23.87±1.56[a]	12.10±2.06[b]	0.762±0.006[d]	34.20±0.99[a]

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ (ค่าเฉลี่ย±SD.)

[ab] อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบโดย DMRT (mean± SD)

จุดมุ่งหมายหลักของการออสโมซิส คือการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากผักผลไม้ แต่อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการออสโมซิสร่วมด้วย ดังนั้นจากตารางที่ 2 จึงแสดงค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE*) ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเมล่อนหลังการออสโมซิส 5 ชั่วโมง เมื่อแปรความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส (40, 50 และ 60°Brix) พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับเมล่อนสด ซึ่งพบว่าเมล่อนสดมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 11.20°Brix ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.906 และมีค่าสี L*, a* และ b* เท่ากับ 60.32, -5.60 และ 27.81 ตามลำดับ เมื่อนำเมล่อนสดไปผ่านการแช่ในสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นต่างๆ พบการเปลี่ยนแปลงดังนี้

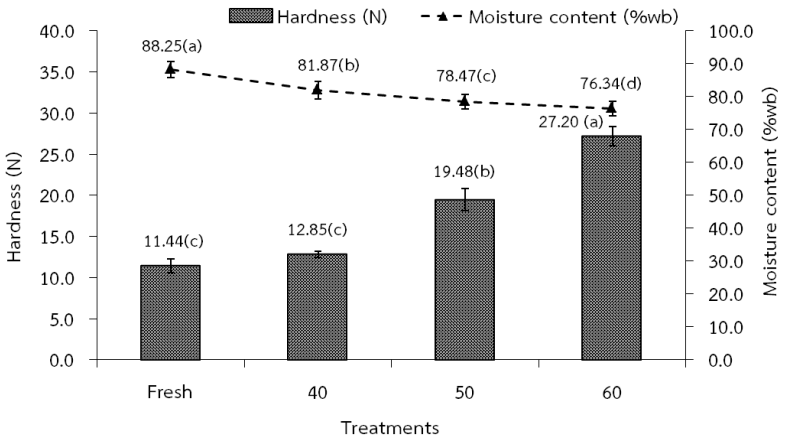
ปัจจัยแรกในการพิจารณาได้แก่ค่าสี เนื่องจากสีเป็นสมบัติกายภาพของอาหารที่มีผลต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค สีของอาหารมักเกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้ง่าย ในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหาร แต่การออสโมซิสเป็นการแปรรูปแบบไม่รุนแรง ซึ่งมีส่วนช่วยในการรักษาการเปลี่ยนแปลงสีได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความร้อน (25) ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพด้านสีของชิ้นผลไม้หลังการออสโมซิสจากตารางที่ 2 พบว่า ค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีแดง (a*) มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) หลังการออสโมซิสที่ความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับ เมื่อเทียบกับเมล่อนสด ในขณะที่มีการลดลงของค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เช่นกันแต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้ยังสังเกตพบว่าหลังการแช่เมล่อนที่ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสสูงขึ้นระหว่าง 40 ถึง 60°Brix ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า L* หรืออาจกล่าวได้ว่าเมล่อนหลังการออสโมซิสสว่างมากขึ้นไม่คล้ำมีสีเหลืองลดลงและเมื่อพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE*) พบว่ามีแนวโน้มลดลง (15.98-12.10) โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ที่การแช่เมล่อนในสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 40°Brix และ 50°Brix ในขณะที่พบการลดลงอย่างมี

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE^*) เท่ากับ 12.10 ในการแช่เมล่อนในสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 60°Brix ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการออสโมซิสสามารถช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากสารละลายกลูโคสที่มีความเข้มข้นสูงโดยน้ำตาลทำหน้าที่เคลือบชิ้นเมล่อนไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศจึงมีสมบัติในการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้ลดการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ชิ้นเมล่อนได้ (26)

ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของเมล่อนหลังการออสโมซิสมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่าง 0.906-0.762 ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณความชื้นเนื่องจากในการออสโมซิสจะใช้สารละลายออสโมติกที่มีความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นภายในชิ้นผักผลไม้เพื่อให้เกิดความแตกต่างของแรงดันเกิดเป็นแรงขับให้มีการถ่ายโอนมวลสาร ระดับความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกจึงเกี่ยวข้องโดยตรงกับประสิทธิภาพการแพร่ของน้ำและตัวถูกละลาย โดยมีแนวโน้มคือเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกส่งผลให้อัตราการถ่ายโอนมวลสารของน้ำและตัวถูกละลายมีค่าเพิ่มขึ้นและมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีค่าค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) ต่ำลง (27) ดังนั้นจึงพบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส 60°Brix ให้ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำสุด

จากตารางที่ 2 พบแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เมื่อเทียบระหว่างเมล่อนสดและหลังการแช่ในสารละลายกลูโคส โดยที่หลังการแช่เมล่อนในสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 40, 50 และ 60°Brix มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 21.60, 26.87 และ 34.20°Brix ตามลำดับ นั้นคือการใช้สารละลายออสโมติกความเข้มข้นสูงมีผลทำให้เมล่อนมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงหรือกล่าวได้ว่าหวานขึ้นนั้นเอง



รูปที่ 4 ค่าความแข็งและปริมาณความชื้นของเมล่อนหลังการออสโมซิส 5 ชั่วโมง เมื่อแปรความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส

[ab] อักษรที่แตกต่างกันในแต่ละสภาวะทดสอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบโดย DMRT (mean± SD)

รูปที่ 4 แสดงค่าความแข็งและปริมาณความชื้นของเมล่อนหลังการออสโมซิส 5 ชั่วโมง เมื่อแปรความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส พบว่าเนื้อสัมผัสเป็นอีกหนึ่งในคุณสมบัติที่สำคัญของผลไม้ ดังนั้นค่าความแข็งของเมล่อนสดมีค่า 11.44 N ซึ่งมีค่าต่ำสุดและมีแนวโน้มเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) หลังการแช่มล่อนในสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 40, 50 และ 60°Brix มีค่าความแข็งเท่ากับ 12.85, 19.48 และ 27.20 N ตามลำดับ ทั้งนี้สอดคล้องกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่เพิ่มขึ้นหลังการออสโมซิส เนื่องจากโมเลกุลน้ำตาลสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างของเซลล์ ซึ่งทำให้เซลล์เมล่อนมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นจึงมีส่วนช่วยให้

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

ชิ้นเมล่อนมีความแน่นเนื้อมากขึ้น นอกจากนี้อาจเป็นไปได้ว่าโมเลกุลของกลูโคสที่แพร่เข้าไปในเซลล์ผลไม้สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโพลีแซกคาไรด์ในผนังเซลล์ทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงมากขึ้นส่งผลให้เนื้อสัมผัสของเมล่อนหลังการออสโมซิสยังคงมีความแน่นเนื้อดี (15, 28)

ในขณะที่พบการลดลงของความชื้นเมล่อนหลังการออสโมซิสโดยเมล่อนสดมีค่าความชื้น 88.25%wb. และลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) หลังการแช่เมล่อนในสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 40, 50 และ 60°Brix มีค่าชื้นเท่ากับ 81.87, 78.47 และ 76.34%wb ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากการออสโมซิสส่งผลให้น้ำภายในเซลล์ของเมล่อนจะแพร่ออกจากเซลล์สู่สารละลายกลูโคสในขณะที่ตัวถูกละลายหรือน้ำตาลจะแพร่เข้าสู่ภายในเซลล์เมล่อน และสารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์เมล่อน เช่น กรด อินทรีย์และเกลือแร่ จะแพร่ออกจากเซลล์สู่สารละลายกลูโคส ทั้งนี้การถ่ายโอนมวลสารหลักที่เกิดขึ้นคือการเคลื่อนย้ายของน้ำภายในเซลล์ของเมล่อนจึงทำให้ความชื้นลดลง (12, 19)

สรุปผล

การแช่เมล่อนชิ้นรูปลูกบาศก์เมตรขนาด 2x2x2 cm ด้วยสารละลายออสโมติกที่เตรียมจากกลูโคสความเข้มข้น 40, 50 และ 60°Brix เป็นเวลา 5 ชั่วโมง มีผลต่อค่าการถ่ายเทมวลสาร โดยที่การแช่เมล่อนในสารละลายกลูโคส 60°Brix ให้ค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำหนักที่ลดลงสูงที่สุดที่ 21.81%, 5.31% และ 16.44% ตามลำดับ และการออสโมซิสยังส่งผลต่อคุณภาพเมล่อนโดยเมล่อนสดมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 11.20°Brix และเพิ่มขึ้นเท่ากับ 21.60, 26.87 และ 34.20°Brix หลังการออสโมซิส ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของเมล่อนสดเท่ากับ 0.906 และมีแนวโน้มลดลงระหว่าง 0.906-0.762 หลังการออสโมซิสซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณความชื้นเช่นกัน เมล่อนสดมีค่าสี L*, a* และ b* เท่ากับ 60.32, -5.60 และ 27.81 ตามลำดับ เมื่อนำเมล่อนสดไปผ่านการแช่ในสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าค่า L*, a* และ b* มีแนวโน้มลดลงหลังการออสโมซิสที่ความเข้มข้นทั้ง 3 ระดับ ในขณะเดียวกันที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE^*) พบว่ามีค่าลดลง (15.98-12.10) เช่นกัน หลังการแช่เมล่อนในสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 40-60°Brix มีผลทำให้เมล่อนมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงขึ้นซึ่งผลที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าความแข็งของเมล่อนสดมีค่า 11.44 N และเพิ่มขึ้นเท่ากับ 12.85, 19.48 และ 27.20 N หลังการแช่มล่อนในสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 40, 50 และ 60°Brix ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่สนับสนุนทุนวิจัยและวัสดุอุปกรณ์

เอกสารอ้างอิง

1. Wolbang CM, Fitos JL, Treeby MT. The effect of high pressure processing on nutritional value and quality attributes of Cucumis melon. Innov Food Sci Emerg Technol. 2008;9(2):196-200.
2. Laur LM, Tian L. Provitamin A and vitamin C contents in selected California-grown cantaloupe and honeydew melons and imported melons. J Food Compos Anal. 2011; 24(2):194-201.
3. กุณฑล เทพจิตรา. แหล่งผลิตเมล่อนของดีที่แม่จัน. ใน: พานิชย์ ยศปัญญา. นิตยสารเทคโนโลยีชาวบ้าน. สำนักพิมพ์มติชน; ปีที่ 31 เล่มที่ 702 1 กันยายน 2562. น. 76-77.

ISSN: 1686-8420 (Print), 2651-2289 (Online)

4. Torregiani D. Osmotic Dehydration in Fruit and Vegetable Processing. Food Res Int. 1993;26:59-69.

5. Ikoko J, Kuri V. Osmotic pre-treatment effect on fat intake reduction and eating quality of deep-fried plantain. Food Chem. 2007;102:523-31.

6. อาภัสสร ศิริจริยวัตร. อิทธิพลของการออสโมซิสก่อนการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพเมล่อน. วารสารวิทยาศาสตร์บรูพา. 2558;20(2):118-30.

7. Sacchetti G, Gianotti A, Dalla RM. Sucrose-salt combined effect on mass transfer kinetics and product acceptability, Study on apple osmotic treatments. J Food Eng. 2001;49:163-73.

8. Ferrari CC, Hubinger MD. Evaluation of the mechanical properties and diffusion coefficients of osmodehydrated melon cubes. Int J Food Sci Tech. 2008;43(11): 2065-74.

9. Dermesonlouoglou EK, Giannakourou MC, Taoukis PS. Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes. J Food Eng. 2007;78:272-80.

10. Barrera C, Betoret N, and Fito P. Ca^{2+} and Fe^{2+} influence on the osmotic dehydration kinetics of apple slices (var. Granny Smith). J Food Eng. 2004;65:9-14.

11. Rozek A, Garcia-Perez J, Lopez F, Guell C, Ferrando M. Infusion of grape phenolics into fruits and vegetables by osmotic treatment: Phenolic stability during air drying. J Food Eng. 2010;99:142-50.

12. Chandra S, Kumari D. Recent development in osmotic dehydration of fruit and vegetables: A Review. Critical Reviews in Food Science & Nutrition. 2015;55(4):552-61.

13. สิริมา ชินสาร, อังคณา เปลี่ยนศรี, ปิยรัฐ มโนมัยหทัยทิพย์. ผลของสารละลายออสโมติกต่อการถ่ายเทมวลสารและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผลมะกรูดกึ่งแห้ง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 2556;44(2)(พิเศษ):1-4.

14. วรัญญา ค้ำชู, วิชมณี ยืนยงพุทธกาล. ผลของการใช้น้ำตาลทรายและเกลือต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างวิธีออสโมซิสแตงไทย. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 2550;38(6)(พิเศษ):91-94.

15. สุภาพรรณ คงสมเพ็ชร, วิชมณี ยืนยงพุทธกาล. ผลของความเข้มข้นของโอลิโกฟรุคโตสและซูโครสต่อลักษณะคุณภาพของกล้วยไข่หลังการออสโมซิส. การประชุมวิชาการระดับชาติ “วิทยาศาสตร์วิจัย” ครั้งที่ 6; วันที่ 20 – 21 มีนาคม พ.ศ. 2557; มหาวิทยาลัยบูรพา; 2557.

16. El-Aouar AA, Azoubel PM, Barbosa Jr JL, Murr FEX. Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya L.*). J Food Eng. 2006;75:267-74.

17. AOAC. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. (18^{th} ed). Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists; 2005.

18. Rhim JW, Nunes RV, Jones VA, Swartzel KR. Kinetics of color change of grape juice generated using linearly increasing temperature. J Food Sci. 1889;54(3):776–7.

19. วิชมณี ยืนยงพุทธกาล. ปัจจัยที่มีผลต่อการดึงน้ำออกด้วยวิธีออสโมซิสของผักและผลไม้. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 2556;18(1):226-33.

20. Azoubel PM, Murr FEX. Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. J Food Eng. 2010;61:291-5.

21. Chavan UD. Osmotic dehydration process for preservation of fruit and vegetables. J Food Res. 2012;1(2):202-9.

22. Kowalska H, Lenart A. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetable. J Food Eng. 2001;49:137-40.

23. นวภัทรา หนูนาค, อมรรัตน์ มุขประเสริฐ. จลนศาสตร์การถ่ายเทมวลในระหว่างกระบวนการออสโมติคไชโป๊วหวาน. วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2554;38(1):53-63.

24. Agarry SE, Owabor CN. Statistical optimization of process variables for osmotic dehydration of Okra (Abelmoschus esculentus) in sucrose solution. Niger J Tech. 2012;31(3):370-82.

25. Tortoe C. A review of osmodehydration for food industry. Afr J Food Sci. 2010;4(6):303-24.

26. Khan MR. Osmotic dehydration technique for fruit preservation-A review. Pakistan J Food Sci. 2012;22(2):71-85.

27. Sankat CK, Castaigne F, Maharaj R. The air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated banana slices. Int J Food Sci Technol. 1996;31:123-35.

28. งามจิตร โล่วิทูร. การปรับปรุงคุณภาพของเงาะแช่เยือกแข็งโดยวิธีออสโมดีไฮเดรชันด้วยน้ำตาลบางชนิด [วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต] กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน; 2551.